

УДК 624.15

ВЛИЯНИЕ СПОСОБОВ ФУНДИРОВАНИЯ НА НЕСУЩЮЮ СПОСОБНОСТЬ ГОТОВЫХ СВАЙ

Н. В. Купчикова, С. В. Плужникова

Астраханский инженерно-строительный институт (Россия)

В статье рассмотрены основные пять способов погружения готовых призматических свай для четырех типов инженерно-геологических разрезов строительных площадок: с помощью забивки сваи механическим (подвесным), паровоздушным или дизельным молотом; забивкой или вдавливанием в предварительно пробуренную лидерную скважину; погружение сваи подмывом; погружение сваи методом вибропогружения или вибровдавливания и способом вдавливания. Построен график зависимости несущей способности конструкций свай длиной 6м и 9м от способов погружения для четырех инженерно-геологических разрезов площадок Астраханской области.

Ключевые слова: *способы глубокого фондирования, свайный фундамент, готовая призматическая свая, несущая способность.*

The article discusses the top five ways to dive prismatic piles ready for the four types of engineering and geological cross-sections of construction sites: using mechanical pile driving (suspended), air-steam or diesel hammer; clogging or indentation in the pre-drilled hole leader; dive pile scour; immersion method vibroimmersion a piles or vibroindentation and indentation method. Plotted structures supporting capacity piles 6m and 9m from the immersion techniques for the four engineering-geological sections areas of Astrakhan region.

Key words: *methods of foundation deep, pile foundation, ready prismatic pile bearing capacity.*

Необходимость применения рациональных конструкций свайных фундаментов, характеризующихся высокой несущей способностью с наименьшей стоимостью и простотой изготовления при строительстве многоэтажных, высотных и большепролетных зданий определяет актуальность темы исследования для многих территорий, сложенных слабыми структурно-неустойчивыми грунтами, в том числе для строительных площадок Астраханской области.

Цель исследования – выявить закономерность изменения несущей способности конструкций свайных фундаментов в зависимости от способов глубокого фундирования (методов погружения) готовых призматических свай.

В тех случаях, когда с поверхности залегают слои слабых, не обладающих достаточной несущей способностью грунтов, чтобы служить основанием для фундаментов мелкого заложения проектируемого сооружения, возникает необходимость передачи нагрузки на более плотные грунты, расположенные на некоторой глубине. В этих условиях чаще прибегают к устройству свай. В Астраханской области наиболее прочным основанием является грунт, залегающий на глубине 8–15 м суглинок и глина, поэтому наиболее прочными и устойчивыми конструкциями фундаментов для нашей области является свайный. Несущая способность свайного фундамента напрямую зависит от способов фундирования или методов погружения свай.

Создание высокопроизводительных и мобильных установок для погружения конструкций готовых свай за последнее десятилетие привело к тому, что резко расширилась область применения фундаментов глубокого заложения в массовом промышленном и гражданском строительстве, где в силу ряда их достоинств они, пришли на смену ранее применявшимся ленточным, плитным и столбчатым.

В целом стоит отметить, что свайные фундаменты вместо традиционных ленточных, плитных и столбчатых на естественном основании позволяют уменьшить объем земляных работ на 70...75 %, расход бетона на 25..30 %, снизить трудоемкость работ по возведению подземной части сооружений в 1,5...2 раза, сократить сроки строительства и создать благоприятные условия для возведения надземной части зданий, а также для монтажа технологического оборудования при строительстве промышленных объектов и специальных сооружений [1–3].

Сегодня без преувеличения можно сказать, что на территории России применяются все передовые технологии устройства свайных фундаментов:

- забивные сваи с использованием современных гидромолотов;
- вибропогружаемые, в том числе с помощью безрезонансных вибропогружателей;
- вдавливаемые забивные с использованием инвентарной трубы и товарного бетона;

- буровые сваи по технологии с обсадной трубой, шнековые (CFA), шнековые под защитой обсадной трубы;
- сваи ввинчивания (без выноса грунта);
- готовые сваи технологии Atlas фирмы Franki с винтовой боковой поверхностью;
- готовые сваи технологии Fundex с оставляемым винтовым чугуном башмаком;
- сваи технологии DDS фирмы Bayer или Omega фирмы Sokofonda со специальным шнековым наконечником, разрыхляющим и отжимающим грунт в стенки скважины и многие другие.

Наибольшее применение в промышленном и гражданском строительстве получили конструкции призматических готовых свай длиной 6...10 м, которые забивают с помощью самоходных сваебойных установок, изготовленных на базе кранов, тракторов, автомобилей или экскаваторов или статически и вибрационно вдавливают с помощью специального навесного оборудования, действующего на сваю массой либо массой и вибрацией одновременно.

Применять дизель-молоты в ряде случаев нецелесообразно, например, при забивке свай в мягкие податливые грунты и грунты с сильносжимаемыми прослойками, когда из-за недостаточной жесткости основания трудно привести в действие дизель-молот, поскольку ударная часть поднимается на недостаточную высоту и требуемого сжатия в камере сгорания не происходит. Дизель-молотами нельзя забивать сваи под водой.

Динамические испытания свай приводят для определения их несущей способности. Более точными, но в то же время более дорогим и трудоемким является способ статических нагрузок, требующий к тому же проведения длительных испытаний. Основная операция (забивка) продолжается 10 мин., а 15 мин. (60 % общей продолжительности цикла) затрачивается на вспомогательные операции. При самоходных копрах и производстве свайных работ в зимних условиях вспомогательные операции занимают 70...80 % времени, расходуемого на погружение свай. Становится очевидным, что механизация и автоматизация основных и вспомогательных работ по забивке свай сложны в своей технологии, трудоемки, забивка сопровождается большими динамическими воздействиями, негативно оказывающими влияние на прочность и устойчивость расположенных вблизи фундаментов, коммуникаций и конструкций зданий и сооружений.

Следующий метод, часто используемый на строительных площадках для погружения готовых свай – вдавливание. Статическое и вибрационное вдавливание свай осуществляют с помощью специальных установок, действующих на сваю массой либо массой и вибрацией одновременно. Более эффективным является метод динамического (вибрационного) вдавливания свай с помощью вибровдавливающих установок, когда свая погружается от комбинированных действий вибрации и статической пригрузки.

Для погружения свай с применением подмыва грунта разрыхляют и частично вымывают струями воды, вытекающими под давлением из нескольких трубок диаметром 38...62 мм, укрепленных на свае. При этом сопротивление грунта у острия сваи снижается, а поднимающаяся вдоль ствола вода размывает грунт, уменьшая тем самым трение по боковым поверхностям сваи. Расположение подмывных трубок может быть боковым, когда две или четыре подмывные трубки с наконечниками находятся по бокам сваи, и центральным, когда один одноструйный или многоструйный наконечник размещен по центру погружаемой сваи.

При боковом подмыве трубки могут быть повреждены, а при перерывах в работе – заполняться грунтом. При неравномерном размыве сваи могут отклоняться от проектного положения. При боковом подмыве (по сравнению с центральным) создаются более благоприятные условия для уменьшения сил трения по боковой поверхности свай. При боковом расположении подмывных трубок их крепят таким образом, чтобы наконечники находились у свай на 30...40 см выше острия, оболочек – на 150...200 см выше ножа.

На последнем метре или двух метрах сваю погружают без подмыва, так как сцепление между частицами грунта под подошвой и частично по боковой поверхности свай уменьшается, что снижает несущую способность сваи. Применение подмыва не допускается, если имеется угроза просадки близлежащих сооружений, а также при наличии просадочных грунтов.

Дополнительные операции при подмыве, связанные с креплением подмывных трубок, включением и выключением мотора насоса, извлечением подмывных трубок приводят к увеличению трудоемкости и стоимости работ, в связи с чем этим методом на производстве пользуются довольно редко.

В работе рассматриваются следующие пять основных способов глубокого фундирования:

- с помощью забивки сваи механическим (подвесным), паровоздушным или дизельным молотом;
- забивкой или вдавливанием в предварительно пробуренную лидерную скважину;
- погружение сваи подмывом;
- погружение сваи методом вибропогружения или вибровдавливания;
- погружение сваи производится способом вдавливания.

Расчет несущей способности призматической сваи F_d для пяти способов погружения сваи длиной $L = 6$ м и $L = 9$ м, выполним согласно Свода правил по проектированию и строительству «Свайные фундаменты» СП 50-102-2010 по формуле):

$$F_d = \gamma_c [\gamma_{cr} R \cdot A + u \sum \gamma_{cf} f_i h_i]$$

где γ_c – коэффициент условий работы сваи в грунте, принимаемый $\gamma_c=1$; R – расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи, кПа, принимаемое по табл. 1 СП 50-102-2010; A – площадь опирания на грунт сваи, m^2 , принимаемая по площади поперечного сечения сваи; u – наружный периметр поперечного сечения сваи на участке ствола, м; f_i – расчетное сопротивление i -го слоя грунта основания на боковой поверхности сваи, кПа, принимаемое по табл.2 СП 50-102-2010; h_i – толщина i -го слоя грунта, соприкасающегося с боковой поверхностью сваи, м; $\gamma_c R, \gamma_c f$ – коэффициенты условий работы грунта соответственно под нижним концом и на боковой поверхности сваи, учитывающие влияние способа погружения сваи на расчетные сопротивления грунта и принимаемые по табл. 3 СП 50-102-2010.

Для получения наиболее достоверных значений в определении несущей способности сваи воспользуемся результатами инженерно-геологических испытаний и полученных значений физико-механических характеристик грунтов для четырех площадок, расположенных на территории Астраханской области (см. табл. 1–4). Результаты расчета несущей способности призматической сваи F_d для пяти способов погружения готовой призматической сваи длиной $L = 6$ м и $L = 9$ м сведем в таблицу 5 и построим график зависимости (см. рис. 1).

Таблица 1

Физико-механические свойства грунтов инженерно-геологических изысканий,
выполненных в г. Астрахани по ул. Кирова – Бабушкина

<i>Результаты лабораторных исследований образцов грунта</i>														Показатель текучести	Среднее значение показателя текучести
<i>Инженерно-геологический разрез № 1 (ул. Кирова – Бабушкина)</i>															
№ п/п	Глубина взятия образца, м		Влажность в %, W	Удельный вес	Объемный вес грунта		Пористость	Коэффициент пористости	Степень влажности	Пределы пластичности			Классификация грунтов по СП		
	от	до			естественное состояние	вес скелета				верхний предел, W_L	нижний предел, W_P	число пластичности, L_P			
1	1,8	1,2	27,8	2,74	136	0,73	44,1	2,77	0,95	11,8	73	45	суглинок тугопластичный	0,44	0,55
2	2,0	2,2	27,7	2,74	1,40	0,78	42,6	2,52	1,0	98	47	51	суглинок текучепластичный	0,67	
3	3,1	3,3	38,7	2,70	1,47	0,91	51,5	2,00	0,98	71	44	27	глина полутвердая	0,22	0,22
4	5,0	5,2	37,5	2,72	1,74	1,24	51,8	0,27	0,96	51	22	53	глина полутвердая	0,21	
5	7,4	7,6	21,6	2,74	1,99	1,58	41,8	0,68	0,79	27	17	10	суглинок полутвердый	0,13	0,13
6	8,0	9,2	-	2,70	-	-	-	-	-	-	-	-	песок пылеватый	-	-
7	10,0	11,0	-	2,70	-	-	-	-	-	-	-	-	песок пылеватый	-	

Таблица 2

Физико-механические свойства грунтов инженерно-геологических изысканий,
выполненных в г. Астрахани по ул. Набережная Приволжского Затона

Результаты лабораторных исследований образцов грунта Инженерно-геологический разрез № 2 (ул. Набережная Приволжского Затона)														Показатель текучести	Среднее значение показателя текучести
№ п/п	Глубина взятия образца, м		Влажность в %, W	Удельный вес	Объемный вес грунта		Пористость	Коэффициент пористости	Степень влажности	Пределы пластичности			Классификация грунтов по СП		
	от	до			естественное состояние	вес скелета				верхний предел, W_L	нижний предел, W_P	число пластичности, L_P			
1	0,8	1,0	27,8	2,70	1,93	1,51	44,1	0,79	0,95	37,0	23,0	14,0	суглинок тугопластичный	0,34	0,57
2	1,8	2,0	27,7	2,70	1,98	1,55	42,6	0,74	1,0	30,0	19,0	11,0	суглинок текучепластичный	0,79	
3	3,1	3,3	38,7	2,72	1,83	1,32	51,5	1,06	0,98	55,0	34,0	21,0	глина полутвердая	0,22	0,22
4	5,0	5,2	37,5	2,72	1,81	1,32	51,8	1,06	0,96	54,0	33,0	21,0	глина полутвердая	0,21	
5	7,4	7,6	21,6	2,70	1,99	1,58	41,8	0,71	0,79	32,0	20,0	12,0	суглинок полутвердый	0,13	0,13
6	8,2	9,0	-	2,72	-	-	-	-	-	-	-	-	песок пылеватый	-	-
7	9,8	11,0	-	2,70	-	-	-	-	-	-	-	-	песок пылеватый	-	

Таблица 3

Физико-механические свойства грунтов инженерно-геологических изысканий,
выполненных в г. Астрахань по ул. Бориса Алексева

<i>Результаты лабораторных исследований образцов грунта Инженерно-геологический разрез № 3 (ул. Бориса Алексева)</i>															
№ п/п	Глубина взятия об- разца, м		Влажность в %, W	Удельный вес	Объемный вес грунта		Пори- стость	Коэф- эф- фици- ент пори- сто- сти	Сте- пень влаж- но- сти	Пределы пластичности			Классификация грунтов по СП	Показатель текучести	Среднее значение показателя текучести
	от	до			естественное состояние	вес скелета				Верх- ний предел, W_L	Ниж- ний пре- дел, W_P	Число пла- стич- но- сти, L_P			
1	0,6	0,8	0,26	2,70	1,95	1,52	43,9	0,78	0,97	0,34	0,24	0,13	суглинок полутвердый	0,15	0,15
2	1,2	1,4	0,36	2,71	1,87	1,42	48,2	0,95	0,94	0,51	0,32	0,19	глина полутвердая	0,21	0,2
3	2,2	2,4	0,34	2,74	1,79	1,36	50,4	1,01	0,86	0,52	0,32	0,20	глина полутвердая	0,15	
4	3,2	3,4	0,33	2,74	1,88	1,43	47,8	0,92	0,93	0,49	0,30	0,19	глина полутвердая	0,21	
5	3,8	4,0	0,33	2,70	1,94	1,52	44,5	0,80	0,95	0,51	0,30	0,19	глина полутвердая	0,21	
6	4,8	5,0	0,20	2,76	1,99	1,60	40,7	0,69	0,94	0,26	0,18	0,10	суглинок тугопластичный	0,2	0,2
7	5,5	6,0	-	2,73	-	-	-	-	-	-	-	-	песок пылеватый	-	-
8	7,5	8,0	-	2,70	-	-	-	-	-	-	-	-	песок пылеватый	-	-
9	9,5	10,0	-	2,70	-	-	-	-	-	-	-	-	песок пылеватый	-	-
10	10,8	11,0	0,32	2,74	1,89	1,46	46,7	0,88	0,91	0,60	0,29	0,23	глина полутвердая	0,13	0,13

Таблица 4

Физико-механические свойства грунтов инженерно-геологических изысканий,
выполненных в г. Астрахани по ул. Халтурина

<i>Результаты лабораторных исследований образцов грунта Инженерно-геологический разрез № 4 (ул. Халтурина)</i>															
№ п/п	Глубина взятия об- разца, м		Влажность в %, W	Удельный вес	Объемный вес грунта		Пори- стость	Кэф- фици- ент пори- стости	Сте- пень влаж- но- сти	Пределы пластичности			Классификация грунтов по СП	Показатель текучести	Среднее значение показателя текучести
	от	до			Естественное состояние	Вес скелета				Верх- ний пре- дел, W _L	Ниж- ний пре- дел, W _P	Число пла- стич- но- сти, L _P			
1	0,6	1	11,4	2,70	1,96	1,51	42,7	0,76	0,94	27,6	23,0	4,6	суглинок полутвердый	0,17	0,22
2	2,2	3,0	8,2	2,72	1,96	1,57	47,1	0,71	1,1	24,5	19	5,5	суглинок тугопластичный	0,27	
3	3,1	3,3	9,3	2,73	1,78	1,35	51,4	0,73	0,98	38,1	34	4,1	супесь пластичный	0,38	0,38
4	3,8	4,2	10,1	2,72	1,98	1,57	47,8	0,74	0,94	24,4	20	4,4	суглинок полутвердый	0,21	0,26
5	4,9	5,5	12,8	2,74	1,96	1,54	44,5	0,74	0,97	32	26,3	5,7	суглинок полутвердый	0,15	
6	6,0	7,5	9,1	2,70	1,92	1,53	42,6	0,71	0,97	24,8	20,0	4,8	суглинок тугопластичный	0,33	
7	8,0	9,5	8,4	1,99	1,91	1,49	41,8	0,71	0,79	32	26,1	5,9	суглинок тугопластичный	0,29	
8	9,5	10,0	9,6	1,89	1,93	1,51	40,7	0,71	0,82	27,3	23	4,3	суглинок тугопластичный	0,32	

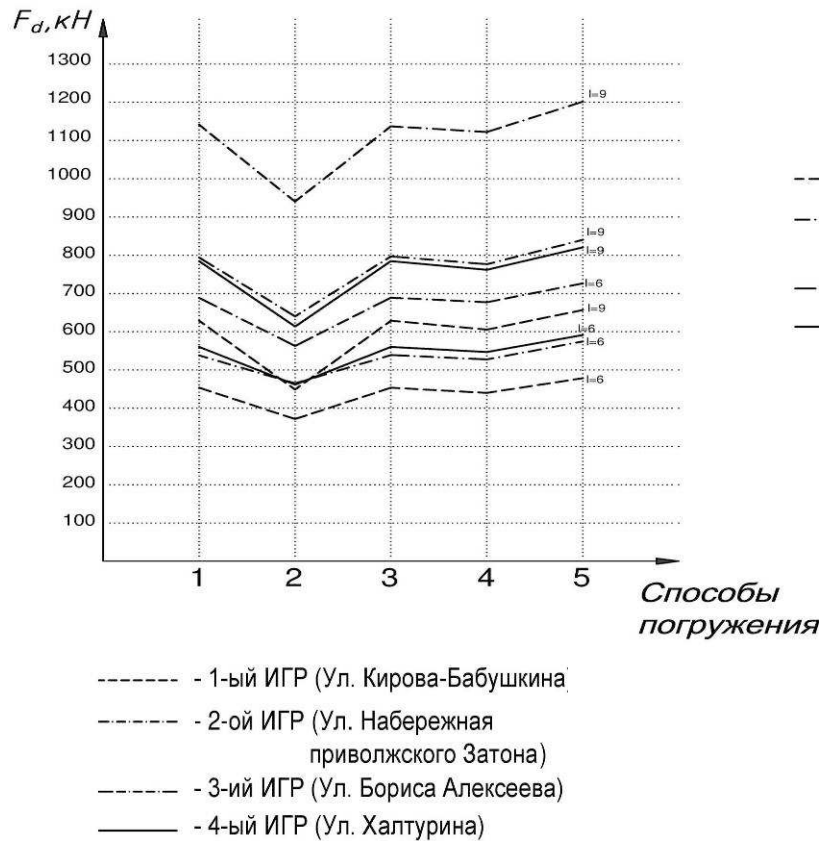


Рис. 1. График зависимости несущей способности конструкций свай длиной 6 м и 9 м от способов погружения для четырех инженерно-геологических разрезов:

1 – погружение свай производится механическим (подвесным), паровоздушным или дизельным молотом; 2 – погружение свай производится забивкой или вдавливанием в предварительно пробуренную лидерную скважину; 3 – погружение свай производится с подмывом в песчаный грунт; 4 – погружение свай производится методом вибропогружения или вибровдавливания; 5 – погружение свай производится способом вдавливания

Таким образом, можно сделать вывод, что при погружении готовых призматических свай несущая способность в значительной степени зависит от способов глубокого фундирования от 5 до 30 %. Наибольшая несущая способность наблюдается при погружении свай способом вдавливания. На 5–7 % значения несущей способности меньше в результате забивки свай механическим (подвесным), паровоздушным или дизельным молотом. Наименьшая несущая способность наблюдается при погружении свай забивкой или вдавливанием в предварительно пробуренную лидерную скважину: на 15–18 % меньше, чем забивка молотами и 20–30 % в зависимости от свойств грунтов при вдавливании.

Таблица 5

Результаты расчета несущей способности конструкций свай (кН)
длинной 6 м и 9 м в зависимости от способов погружения
для четырех инженерно-геологических разрезов

№	Методы погружения	ИГА № 1 (ул. Кирова – Бабушкина)		ИГА № 2 (ул. Набереж- ная Приволж- ского Затона)		ИГА № 3 (ул. Бориса Алексеева)		ИГА № 4 (ул. Халту- рина)	
		6 м	9 м	6 м	9 м	6 м	9 м	6 м	9 м
1	Погружение свай производится механическим (подвесным), паровоздушным или дизельным молотом	453,63	628,71	538,98	797,04	689,1	1137	560,1	784,68
2	Погружение свай производится забивкой или вдавливанием в предварительно пробуренную лидерную скважину	371,71	448,93	464,88	640,23	562,86	940,2	461,69	613,6
3	Погружение свай производится с подмывом в песчаный грунт	453,63	628,71	538,98	797,04	689,1	1137	560,1	784,68
4	Погружение свай производится методом вибропогружения или вибровдавливания	440,10	605,64	527,52	776,48	677,14	1122,21	546,88	762,02
5	Погружение свай производится способом вдавливания	478,52	656,64	574,35	837,54	726,45	1201,5	591,51	820,38

Список литературы

1. Штоль Т. М., Теличенко В. И., Феклин В. И. Технология возведения подземной части зданий и сооружений : учеб. пособие для вузов. Спец. : Промышл. и гражд. стро-во. – М. : Стройиздат, 1990. – 288 с.
2. Смиренский Г. М., Нудельман Л. А., Радугин А. Е. Свайные фундаменты гражданских зданий. – М. : Стройиздат, 1970. – 141 с.
3. Завьялова О. Б. Уточнение расчетных усилий в монолитных фундаментных плитах при действии сосредоточенных нагрузок // ПГС. – 2007. – № 9. – С. 24–25.
4. Купчикова Н. В. Особенности берегоукрепления набережной реки Волги свайными оболочками, каменной наброской и строительства на намывных грунтах вдоль береговой зоны // ПГС. – 2014. – № 6. – С. 36–39.
5. Купчикова Н. В. Влияние уплотнения грунта со щебнем на жесткость основания // Промышленное и гражданское строительство. – № 10. – М., 2007.